Der Zerfall des Lutetiums-176m

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

vorgelegt von

Max Heinzelmann

aus Münster

Göttingen 1964

D 7

Referent: Professor Dr. A. Flammersfeld

Korreferent: Professor Dr. R. Hilsch

Tag der mündlichen Prüfung: 15. 5. 1964

Zeitschrift für Physik 181, 347—355 (1964)

Aus dem II. Physikalischen Institut der Universität Göttingen

Der Zerfall des Lu^{176m} ⋆

Von

MAX HEINZELMANN

Mit 6 Figuren im Text

(Eingegangen am 21. Juli 1964)

The decay of Lu^{176m} has been investigated. The *K*-conversion coefficient α_K of the 88,3 keV niveau of Hf^{176} has been determined to $\alpha_K = 1{,}35 \pm 0{,}07$. The β-branching ratio to the 0+ and 2+ niveau of Hf^{176} has been measured by means of a β-γ-coincidental technique. $(60{,}4 \pm 6{,}1)\%$ of Lu^{176m} decay into the 2+ niveau and $(39{,}6 \pm 6{,}1)\%$ into the 0+ niveau of Hf^{176}. *K*-capture of Lu^{176m} to Yb^{176} was not found. If there is any, it is less than 0,1% of all decays.

1. Einleitung

Das Lutetiumisotop Lu^{176m} ist ein β-Strahler, der mit einer Halbwertszeit von $T_{\frac{1}{2}} = 3{,}7$ h in Hf^{176} zerfällt. Das neueste Termschema ist von ŘEZANKA, FRÁNA, MAŠTALKA und BENEŠ[1] aufgestellt (Fig. 1). Das

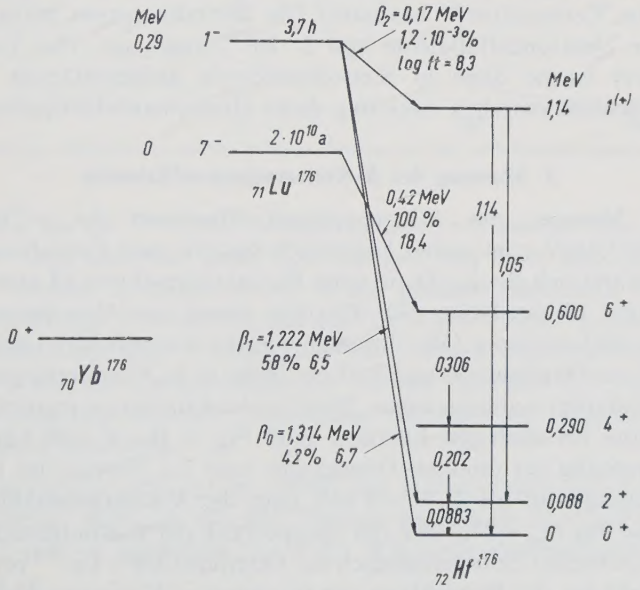

Fig. 1. Termschema des Lu^{176}-Zerfalls nach ŘEZANKA, FRÁNA, MAŠTALKA und BENEŠ[1]. Gleichzeitig ist die Lage des Grundniveaus des Yb^{176} angegeben

⋆ D 7 (gekürzt).

[1] ŘEZANKA, I., J. FRÁNA, A. MAŠTALKA u. J. BENEŠ: Czechoslov. J. Phys. **12**, 530 (1962).

$_{71}Lu^{176m}$ ist ein *uu*-Kern. Er könnte nicht nur in das stabile Hafniumisotop $_{72}Hf^{176}$, sondern auch in das stabile Ytterbiumisotop $_{70}Yb^{176}$ zerfallen. Nach Messungen von LANGHOFF, KILIAN und FLAMMERSFELD[2] findet ein $\beta+$-Zerfall des Lu^{176m} in weniger als $5 \cdot 10^{-6}$ aller Zerfälle statt. Über den *K*-Einfang des Lu^{176m} ist bis heute noch nichts berichtet worden. In der vorliegenden Arbeit sollte deshalb festgestellt werden, ob das Lu^{176m} durch *K*-Einfang zum Yb^{176} zerfällt. Gleichzeitig sollte das Verzweigungsverhältnis der β-Strahlen zum ersten angeregten Niveau und zum Grundzustand des Hf^{176} und der *K*-Konversionskoeffizient der γ-Strahlung $E_\gamma = 88{,}3$ keV möglichst genau gemessen werden.

2. Präparate

Das Lu^{176m} wurde erzeugt durch Bestrahlen von fein gepulvertem Lutetiumoxid* Lu_2O_3 als natürliches Isotopengemisch mit thermischen Neutronen. Zur Messung des *K*-Konversionskoeffizienten und des β-Verzweigungsverhältnisses wurde das Lu_2O_3 im Kaskadengenerator des Instituts mit thermischen Neutronen bei einer Flußdichte von $10^7 - 10^8$ n/cm^2 · sec ein bis zwei Stunden bestrahlt.

Zur Messung des *K*-Einfanges beim Lu^{176} wurde fein gepulvertes Lu_2O_3 im Kernreaktor** bestrahlt. Die Bestrahlungszeit betrug 5 min bei einer Neutronenflußdichte von $5 \cdot 10^{12}$ n/cm^2 · sec. Das Lutetiumoxidpulver wurde dann in Kollodiumlösung aufgeschlämmt und in dünner Schicht zwischen zwei 10 µ dicke Hostaphanfolien gebracht.

3. Messung des *K*-Konversionskoeffizienten

Zur Messung des *K*-Konversionskoeffizienten des γ-Übergangs $E_\gamma = 0{,}0883$ MeV vom ersten angeregten Niveau zum Grundniveau des Hf^{176} befand sich das Lu_2O_3 in einer Plexiglaskapsel von 14 mm Durchmesser und 10 mm Höhe. Das Plexiglas diente zur Absorption der β-Strahlen des Lutetiums. Die γ-Strahlen wurden in einem NaJ-Lochkristall von 8,75 cm Durchmesser und 8,75 cm Höhe in 4π-Geometrie gemessen. Das γ-Spektrum wurde in einem 256-Kanaldiskriminator registriert. Das γ-Spektrum bei niedrigen Energien zeigt Fig. 2. Bei $E_\gamma = 88{,}3$ keV liegt die γ-Strahlung des direkten Überganges vom 2+ Niveau des Hf^{176} in das Grundniveau, bei $E_K = 55{,}8$ keV liegt die *K*-Röntgenstrahlung des Hf^{176} und bei $E_{esc} = 27{,}2$ keV der Escape-Peak der *K*-Röntgenstrahlung. Da im natürlichen Isotopengemisch des Lutetiums 2,6% Lu^{176} vorhanden ist, entsteht bei der Bestrahlung mit thermischen Neutronen auch Lu^{177} mit einer Halbwertszeit von $T_{\frac{1}{2}} = 6{,}75$ Tagen. Deswegen ist in der Linie

* K. Rasmus u. Co., Hamburg, Reinheitsgrad 99,9%.

** Reaktorstation Geesthacht.

[2] LANGHOFF, H., P. KILIAN u. A. FLAMMERSFELD: Z. Physik **165**, 387 (1961).

$E_K = 55{,}8$ keV des Spektrums Fig. 2 noch ein Anteil vom Lu^{177}-Zerfall, und bei $E_\gamma = 113$ keV liegt noch eine schwache γ-Linie vom Lu^{177}-Zerfall. Das Lutetium-γ-Spektrum wurde 48 Std nach Bestrahlungsende, wenn das Lu^{176m} zerfallen ist, noch einmal gemessen. Dieses Spektrum war vom Lu^{177}-Zerfall allein und wurde vom Spektrum in Fig. 2 subtrahiert.

Die Absorption der γ-Strahlen durch die Plexiglaskapsel um das Lutetiumpräparat und durch die Aluminiumhülle des NaJ-Kristalls wurde mit den Absorptionskoeffizienten vom McGINNIES[3] berechnet. Sie betrug 6% für die K-Strahlung $E_K = 55{,}8$ keV und 7,3% für die γ-Strahlung $E_\gamma = 88{,}3$ keV.

Der Escape-Peak der K-Strahlung der Energie $E_K = 55{,}8$ keV wurde aus dem Spektrum Fig. 2 bestimmt zu $(9{,}1 \pm 0{,}4)\%$ der Fläche der K-

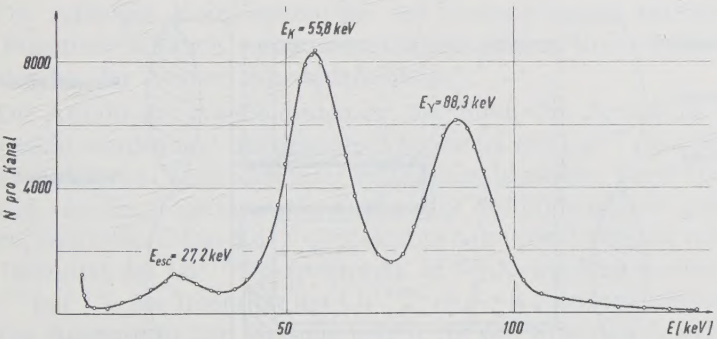

Fig. 2. Lutetium-γ-Spektrum bei kleinen Energien. Meßbeginn 2 Std nach Bestrahlungsende, Meßdauer 2 Std

Strahlung des Lu^{176m}. Der Escape-Peak der γ-Linie der Energie $E_\gamma = 88{,}3$ keV liegt unter der Linie $E_K = 55{,}8$ keV und kann nicht direkt gemessen werden. Deswegen wurde in der gleichen Apparatur noch der Escape-Peak der K-Strahlung der Energie $E_K = 72{,}9$ keV gemessen, die beim Zerfall des Hg^{203} ausgesandt wird. Durch Extrapolation dieser beiden Werte des Escape-Peaks zur Energie $E_\gamma = 88{,}3$ keV wurde der Escape-Peak der 88,3 keV γ-Strahlung bestimmt zu $(1{,}5 \pm 0{,}5)\%$ der Fläche der γ-Strahlung.

Bei bekannter Absorption, Größe der Escape-Peaks und K-Fluoreszenzausbeute[4] läßt sich aus den Flächen der Linien $E_K = 55{,}8$ keV und $E_\gamma = 88{,}3$ keV im Spektrum Fig. 2 der K-Konversionskoeffizient α_K bestimmen zu

$$\alpha_K = 1{,}35 \pm 0{,}07 \ .$$

[3] McGINNIES, R. T.: X-ray Attenuation Coefficients from 10 keV to 100 MeV. National Bureau of Standards Supplement of Circular 583, 1959.

[4] HAGEDOORN, H. L., and A. H. WAPSTRA: Nuclear Phys. **15**, 146 (1960).

Der gemessene Wert des K-Konversionskoeffizienten stimmt gut mit den bisher gemessenen Werten des Konversionskoeffizienten von MCGOWAN und STELSON[5] mit $\alpha_K = 1{,}32 \pm 0{,}11$, von FOGLIO und BETTONI[6] mit $\alpha_K = 1{,}37 \pm 0{,}05$ und ŘEZANKA, FRÁNA und ADAM[7] mit $\alpha_K = 1{,}25$ überein, während der Wert von THOSAR, JOSHI, SHARMA und PRASAD[8] mit $\alpha_K = 1{,}10 \pm 0{,}06$ kleiner ist.

4. Messung des β-Verzweigungsverhältnisses

Die Versuchsanordnung zur Messung des β-Verzweigungsverhältnisses vom Zerfall des Lu^{176m} in das erste angeregte Niveau und in das

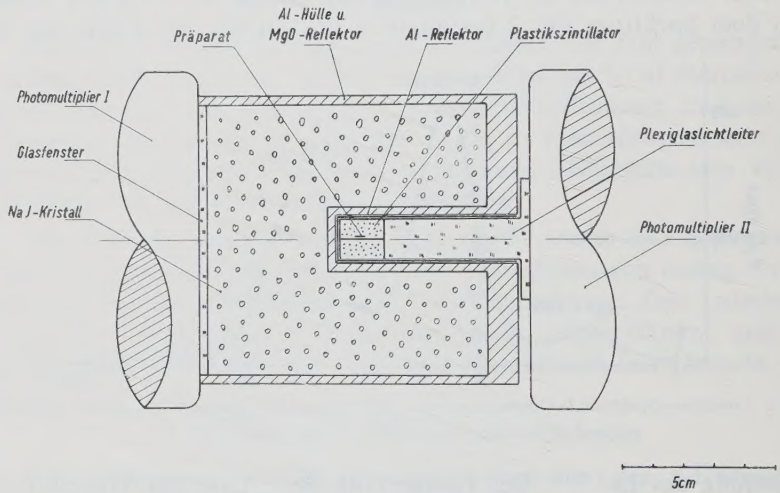

Fig. 3. Anordnung zur Messung des β-Verzweigungsverhältnisses

Grundniveau des Hf^{176} zeigt Fig. 3. Die β-Strahlen werden in einem Plastikszintillator von 14 mm Durchmesser und 15 mm Höhe in 4π-Geometrie nachgewiesen. Der Plastikszintillator ist mit einem Plexiglaslichtleiter mit dem Photomultiplier verbunden. Die vom Präparat ausgesandten γ-Strahlen werden in dem oben erwähnten NaJ-Lochkristall, in dem der Plastikszintillator sich befindet, in 4π-Geometrie nachgewiesen. Die angeschlossene Schnell-Langsam-Koinzidenz mit einer Auflösungszeit von 10 nsec wurde von HAUPT[9] beschrieben.

[5] MCGOWAN, F. K., and P. H. STELSON: Phys. Rev. **107**, 1674 (1957).
[6] FOGLIO, A., e M. M. BETTONI: Energia nucleare (Milan) **9**, 677 (1962).
[7] ŘEZANKA, I., J. FRÁNA u. J. ADAM: Czechoslov. J. Phys. **11**, 611 (1961).
[8] THOSAR, B. V., M. C. JOSHI, R. P. SHARMA and K. G. PRASAD: Nuclear Phys. **50**, 305 (1964).
[9] HAUPT, W.: Diss. Göttingen 1964. Z. Physik (im Druck).

Es wurden zwei Messungen ausgeführt. Einmal wurde das gesamte β-Spektrum ohne Koinzidenz im 256-Kanaldiskriminator gemessen. Bei der zweiten Messung wurden alle die β-Strahlen gemessen, die in Koinzidenz mit den γ-Strahlen der Energie $E_\gamma = 88{,}3$ keV ausgesandt wurden. Aus der zweiten Messung läßt sich, da der K-Konversionskoeffizient des Niveaus $E_\gamma = 88{,}3$ keV und das Verhältnis von Gesamtkonversion zu K-Konversion α/α_K bekannt sind und die Absorption für die γ-Strahlen in Plastikszintillator, Lichtleiter und Aluminiumhülle des NaJ-Kristalls berechnet werden kann, die Gesamtzahl der β-Strahlen berechnen, bei deren Aussendung das erste angeregte Niveau des Hf^{176} erreicht wird. Als Verhältnis von Gesamtkonversion zu K-Konversion sind dabei die Meßwerte von Řezanka, Frána, Adam und Peker[10] benutzt: $\alpha/\alpha_K = 364/63$.

Die zufälligen Koinzidenzen bei der letzten Messung betrugen, da die Präparate schwach waren, nur 1% der echten Koinzidenzen und wurden bei der Auswertung vernachlässigt.

Die Anzahl der β-γ-Koinzidenzen, die durch den Zerfall des Lu^{177} verursacht wurden und das gesamte β-Spektrum des Lu^{177} ohne Koinzidenz wurden zwei Tage nach jeder Bestrahlung gemessen. Diese Spektren wurden von den β-Spektren, die direkt nach Bestrahlungsende gemessen waren, subtrahiert. Das Lu^{177}-β-Spektrum hatte eine Intensität von 10% der Intensität des Lu^{176m}-β-Spektrums. In β-γ-Koinzidenz wurden beim Lu^{177} nur 1% der Intensität des Lu^{176m} in β-γ-Koinzidenz gemessen.

Die Auswertung der Messung lieferte für den Bruchteil β_1 der Elektronen, die beim Zerfall $Lu^{176m} \rightarrow Hf^{176}$ in das 88,3 keV-Niveau des Hf^{176} übergehen:

$$\beta_1 = (60{,}4 \pm 6{,}1)\% .$$

Für den Bruchteil β_0 der Elektronen, die bei diesem Zerfall in das Grundniveau des Hf^{176} übergehen, folgt:

$$\beta_0 = (39{,}6 \pm 6{,}1)\% .$$

Der Anteil β_2 der Zerfälle in das 1,14 MeV-Niveau des Hf^{176} braucht wegen der geringen Intensität von $\beta_2 = 1{,}2 \cdot 10^{-3}\%$ hier nicht berücksichtigt zu werden.

Das β-Verzweigungsverhältnis ist zuerst 1962 von Řezanka, Frána, Adam und Peker[10] gemessen zu $\beta_1 = 58\%$ und $\beta_0 = 42\%$. Gallagher, Namenson und Simms[11] bestimmten 1963 das Verzweigungsverhältnis

[10] Řezanka, I., J. Frána, J. Adam u. L. K. Peker: Isvest. Akad. Nauk. S.S.S.R., Ser.Fiz. **26**, 127 (1962).

[11] Gallagher jr., C. J., A. Namenson, and P. C. Simms: Nuclear Phys. **49**, 443 (1963).

zu $\beta_1 = (63 \pm 12)\%$ und $\beta_0 = (37 \pm 12)\%$. SCHMID[12] findet $\beta_1 = 56\%$ und $\beta_0 = 44\%$. Alle Meßergebnisse stimmen gut mit der vorliegenden Messung überein.

5. Bestimmung der Quantenzahl K des Lu^{176m}

Sowohl VARSHALOVICH und PEKER[13] als auch ASARO, PERLMAN, RASMUSSEN und THOMPSON[14] hatten vermutet, daß das Lu^{176m} mit dem Kernspin $I=1$ das tiefste Energieniveau einer Rotationsbande im Lu^{176} mit der Quantenzahl $K=0$ ist. Nach ALAGA, ALDER, BOHR und MOTTELSON[15] ist das Verhältnis F der reduzierten Übergangswahrscheinlichkeiten B zu 2 Niveaus einer Rotationsbande im Folgekern mit der Quantenzahl K_e bei gleicher Drehimpulsänderung L gegeben durch das Verhältnis der Quadrate von Clebsch-Gordan-Koeffizienten

$$F = \frac{B(L, I_a \to I_e)}{B(L, I_a \to I_{e'})} = \frac{\langle I_a L K_a K_e - K_a | I_a L I_e K_e \rangle^2}{\langle I_a L K_a K_e - K_a | I_a L I_{e'} K_e \rangle^2}. \qquad (1)$$

Dabei sind I_a, I_e und $I_{e'}$ Kernspin des Ausgangskernes und der entstehenden Niveaus im Folgekern und K_a ist die Quantenzahl K des Ausgangskerns. Da der ft-Wert eines β-Überganges umgekehrt proportional der reduzierten Übergangswahrscheinlichkeit B ist, läßt sich K_a aus der Messung des Verzweigungsverhältnisses feststellen. Für den Zerfall des Lu^{176m} liefert das Verhältnis der Clebsch-Gordan-Koeffizienten der Gl. (1) für $K=0$ den Wert $F=0{,}5$ und für $K=1$ den Wert $F=2$. Aus der Messung des β-Verzweigungsverhältnisses in dieser Arbeit folgt $F=0{,}52$. Die Werte für f sind dabei entnommen den Kurven bei WAPSTRA, NIJGH und VAN LIESHOUT[16]. f ist dort berechnet unter der Voraussetzung, daß das β-Spektrum erlaubte Form hat. Der Wert $F=0{,}52$ bestätigt, daß das Lu^{176m} die Quantenzahl $K=0$ hat. Zu dem gleichen Ergebnis waren auch ŘEZANKA, FRÁNA, ADAM und PEKER[10], GALLAGHER, NAMENSON und SIMMS[11] und SCHMID[12] gekommen.

6. K-Einfang beim Lu^{176m}

Zur Messung des K-Einfangs beim Lu^{176m} wurde nach K-Röntgenstrahlen des Yb^{176} gesucht. Diese wurden in einer Antikoinzidenzmessung

[12] SCHMID, L. C.: Physics Research Quarterly Report, Oct.-Dec. 1962. Washington: Richland 1963.

[13] VARSHALOVICH, D. A., u. L. K. PEKER: Bull. Acad. Sci. U.S.S.R., Phys. Ser. (USA) **25**, 274 (1961).

[14] ASARO, F., I. PERLMAN, J. O. RASMUSSEN u. S. G. THOMPSON: Phys. Rev. **120**, 934 (1960).

[15] ALAGA, G., K. ALDER, A. BOHR u. B. R. MOTTELSON: Dan. Mat. Fys. Medd. **29**, Nr. 9 (1955).

[16] WAPSTRA, A. H., G. J. NIJGH, and R. VAN LIESHOUT: Nuclear Spectroscopy Tables. Amsterdam 1959.

mit der Apparatur in Fig. 4 indirekt nachzuweisen gesucht. Immer, wenn ein Lu^{176m}-Kern durch K-Einfang zum Yb^{176} zerfällt, wird kein β-Strahl vor dem Röntgenquant ausgesandt, während dem Zerfall des 88,3 keV-Niveaus des Hf^{176} jedesmal ein β-Teilchen vorausgeht. Im Idealfall, wenn jedes β-Teilchen, das vom Lu^{176m} ausgeht, eine Antikoinzidenz verursacht, besteht das Quanten-Spektrum des Lu^{176m}, in β-Antikoinzidenz gemessen, nur aus der K-Strahlung des Yb^{176}. Da bei einer Messung aber die energieärmsten β-Teilchen die Antikoinzidenz

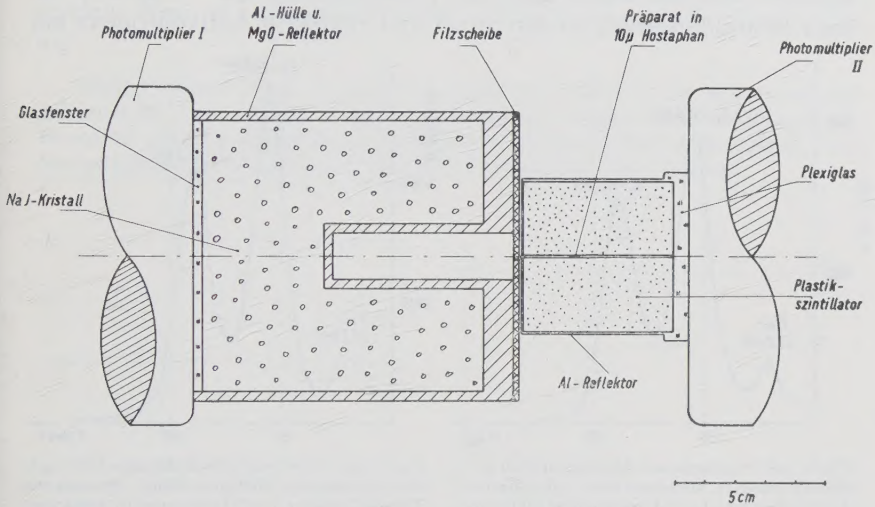

Fig. 4. Anordnung zur Messung des K-Einfangs

nicht zum Ansprechen bringen, sind auch im Quanten-Spektrum des Lu^{176m}, in Antikoinzidenz mit β-Teilchen gemessen, die γ-Strahlung $E_\gamma = 88{,}3$ keV und die K-Strahlung $E_K = 55{,}8$ keV des Hf^{176} vorhanden. Die Linien der K-Strahlung des Hf^{176} und des Yb^{176} werden in einem NaJ-Szintillationskristall nicht getrennt, aber das Verhältnis der Anzahl nachgewiesener K-Quanten in der Linie der K-Strahlung $E_K = 55{,}8$ keV zur Zahl der γ-Quanten der Energie $E_\gamma = 88{,}3$ keV müßte größer sein bei Messung in Antikoinzidenz mit β-Teilchen als bei Messung ohne Antikoinzidenz, wenn K-Einfang beim Lu^{176m} auftritt.

Zerfällt das 88,3 keV-Niveau des Lu^{176m} durch K-Konversion, so wird gleichzeitig ein Konversionselektron ausgesandt mit einer Energie von 23 keV. Damit sich diese Energie im Plastikszintillator nicht zur Energie des vorher ausgesandten β-Teilchens addiert, ist das Lu_2O_3-Präparat mit einer 10 μ dicken Hostaphanfolie umgeben, in der die 23 keV Elektronen abgebremst werden.

In der Versuchsanordnung Fig. 4 befindet sich das Präparat zwischen zwei 10 μ dicken Hostaphanfolien zwischen den beiden Hälften eines 50 · 50 mm großen Plastikszintillators. Um diesen Szintillator ist eine Aluminiumhülle als Reflektor angebracht. Das γ-Spektrum wird im 8,75 · 8,75 cm großen NaJ-Kristall nachgewiesen. Zur Messung wurde die gleiche Schnell-Langsam-Koinzidenzapparatur verwendet wie bei Messung des β-Verzweigungsverhältnisses. Die langsame Koinzidenz war so eingerichtet, daß sie auf „Antikoinzidenz" geschaltet werden konnte. Gemessen wurde dann das γ-Spektrum des Lu^{176m} etwa 6 Std. nach Bestrahlungsende einmal direkt und einmal in Antikoinzidenz mit

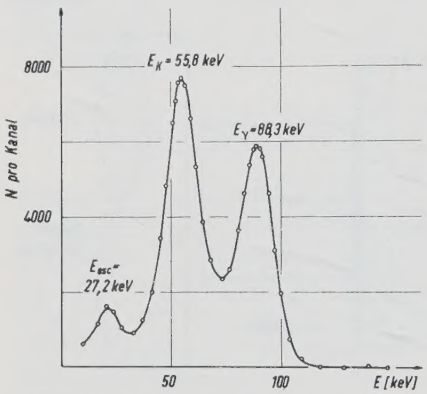

Fig. 5. Lu^{176m}-γ-Spektrum. Meßbeginn 6 Std nach Bestrahlungsende. Meßdauer 6 min. Messung ohne β-Antikoinzidenz. Lu^{177}-Untergrund ist subtrahiert

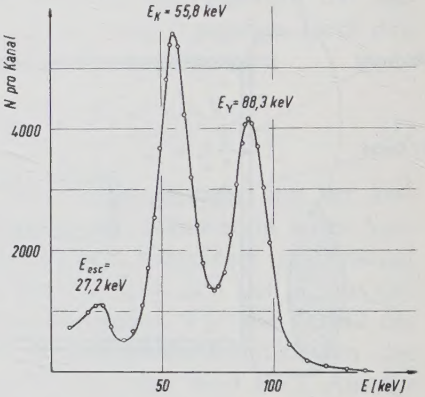

Fig. 6. Lu^{176m}-γ-Spektrum. Meßbeginn 6 Std nach Bestrahlungsende. Meßdauer 30 min. Messung mit β-Antikoinzidenz. Lu^{177}-Untergrund ist subtrahiert

β-Teilchen. Diese Messungen wurden 2 Tage nach Bestrahlungsende wiederholt, dabei wurden die γ-Spektren vom Lu^{177} allein gemessen. Diese Spektren wurden von den 6 Std. nach Bestrahlungsende gemessenen Spektren subtrahiert. Dann erhält man die γ-Spektren von Lu^{176m} mit und ohne Antikoinzidenz allein (Fig. 5 u. 6).

Aus dem Verhältnis B der Fläche der Linie der K-Strahlung der Energie $E_K = 55{,}8$ keV zur Fläche der Linie der γ-Strahlung $E_\gamma = 88{,}3$ keV bei Messung mit β-Antikoinzidenz und dem gleichen Verhältnis A bei Messung ohne β-Antikoinzidenz läßt sich bestimmen, wieviel Prozent Yb-K-Strahlung in der Linie der Hf-K-Strahlung enthalten ist. Innerhalb der Fehlergrenze waren die Verhältnisse A und B beim Lu^{176m}-Zerfall gleich. Wäre B um 6% größer als A, eine solche Änderung hätte sich bestimmt feststellen lassen, so wäre

$$\frac{N_{ke}}{N_{ke}+N_{k0}} = 1{,}05\%\,.$$

Dabei ist N_{ke} = Zahl der durch K-Einfang verursachten Ereignisse in der Linie $E_K = 55{,}8$ keV;

N_{k0} = Zahl der durch K-Konversion verursachten Ereignisse in der Linie $E_K = 55{,}8$ keV.

Da ein Hafnium-K-Quant in 9,3% aller Zerfälle des Lu^{176m} ausgesandt wird, entspräche 1,05% Ytterbium-K-Strahlung in der Linie der Hafnium-K-Strahlung 0,1% K-Einfang beim Zerfall des Lu^{176m}. Es wurde mit der vorliegenden Apparatur kein K-Einfang beim Zerfall des Lu^{176m} gefunden. Wenn er vorhanden ist, tritt er in weniger als 0,1% aller Zerfälle auf.

Herrn Professor Dr. A. Flammersfeld danke ich herzlich für die Stellung der Aufgabe und für viele wertvolle Ratschläge während der Arbeit, Herrn Professor Dr. E. Bagge für die Bestrahlung einiger Präparate in der Reaktorstation Geesthacht. Dem Niedersächsischen Kultusministerium sei für zusätzliche Mittel gedankt.

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg

Lebenslauf

Am 11. August 1933 wurde ich in Münster in Westfalen als Sohn des Hauptsekretärs Max Heinzelmann und seiner Ehefrau Maria geb. Borchmeyer geboren. Ostern 1940 wurde ich in die Uppenbergschule in Münster eingeschult. Als im Herbst 1943 die Großstädte evakuiert wurden, kam ich nach Eickelborn im Kreise Soest. Das dortige Progymnasium besuchte ich seit Ostern 1944. Nach dem Kriege wohnte ich wieder ein Jahr in Münster. 1946 zogen meine Eltern nach Eickelborn und ein Jahr später ins benachbarte Benninghausen, da mein Vater an die dortige Landespflegeanstalt versetzt wurde. Seit Ostern 1950 besuchte ich die Ostendorfschule in Lippstadt, an der ich Ostern 1954 die Reifeprüfung bestand. Ich habe dann 7 Semester in Münster Physik studiert und dort mein Diplomvorexamen im Mai 1957 bestanden. Seit dem Wintersemester 1957/58 studiere ich in Göttingen. Im Oktober 1958 wurde ich in das II. Physikalische Institut der Universität Göttingen aufgenommen und untersuchte die Anwendungsmöglichkeit eines Tonbandgerätes zur Messung von Szintillationsspektren und zur Bestimmung von Halbwertszeiten radioaktiver Substanzen. Im Februar 1961 bestand ich das Diplomexamen in Physik. Seitdem arbeitete ich unter Leitung von Herrn Professor Dr. A. Flammersfeld an meiner Dissertation über den Zerfall des radioaktiven Lutetiumisotops Lu^{176m}.